

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-56133

(P2000-56133A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

G 0 2 B 5/30
1/02

G 0 2 B 5/30
1/02

2 H 0 4 9

審査請求 有 請求項の数 4 書面 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-257426

(71) 出願人 391006566

川上 彰二郎

(22) 出願日 平成10年8月7日 (1998.8.7)

宮城県仙台市若林区上樋236番地 愛宕橋
マンションファラオC-09

(72) 発明者 川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区上樋236番地 愛宕橋
マンションファラオC-09

(72) 発明者 大寺 康夫

宮城県仙台市青葉区上樋1丁目6番15号
コーポ金丁201号

(74) 代理人 100088096

弁理士 福森 久夫

最終頁に続く

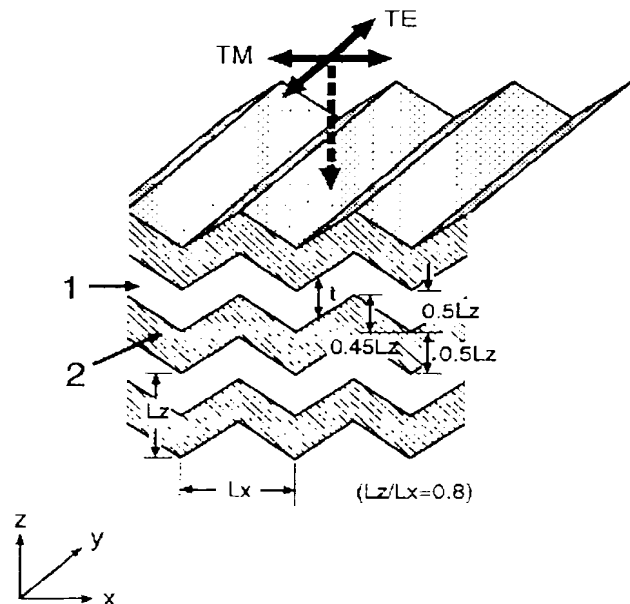
(54) 【発明の名称】 偏光子とその作製方法

(57) 【要約】

【目的】 周期が $1\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の2次元周期構造からなる偏光子と、その作製方法を提供する

【構成】 1次元的にはほぼ周期的な間隔を持つ2種類以上の膜状物質を、ほぼ周期的に順次に積層した構造を持つ2次元的にはほぼ周期的な構造体から成る。一例として、屈折率の異なる材料1と材料2から構成される。

【効果】 簡単な作製方法により、周期が $1\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の2次元周期構造体を得られる。この構造によって、特定の偏波面を持つ入射光を透過させ、それに直交する偏波面を持つ入射光を反射させる偏光子として動作させることができる。



•

10)

高価であるため価格も必然的に高くなる。透明体フリップ・スライダースター角を利用したもので、誘電体多層膜を用いた偏光ビームスプリッタが挙げられる。これ質量密度に富むため低価格ではあるが、高い偏光度は得られない、小型化も困難である。使用波長帯域が狭い、などの問題点があり、限られた用途にしか使用されていない。上述の各偏光子はそれぞれ実用されているが、一方、最近になって波長以下の周期をもつ透明体周期構造の伝播特性の異方性を利用した偏光子が理論的に提案されている。

(浜野哲子、井筒雅之、平山秀樹、”2次元フォトニック結晶を用いた偏光子の可能性、”第58回応用物理学会集, paper 24-W-7, 1997)、佐藤晃、竹部雅博、”構造的複屈折による光学異方性多層膜、”Optics Japan '97, 講演予稿集, paper 30pD01, 1997) これらの構造は、いずれも透明母材中に、母材と屈折率の異なる透明体の細柱を2次元周期的に配列させたものである(周期が例えば半波長程度という条件を満たす構造であれば、柱に平行な偏波と垂直な偏波に対して、一方は内部を伝搬させ、他方は遮断させることができ、従って偏光子として動作させられる)。しかし、実際にはこのような構造を工業的に作製する方法は見つかっていないし、実験例もない。

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の課題点を解決するためのものであり、本発明の目的は、小さい光路長で、優れた消光比と挿入損失特性を有し、大きな開口面積も可能な、低価格の工業的に作製できる偏光子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】本発明の偏光子の構成上なる技術的観点からして説明する。前記石英・石英膜と低屈折率薄膜層とによる人工的な周期構造、具体的には、互いに直交する二つの偏波成分は、それぞれが独立な分散関係（群速度と波動ベクトルとの間）の関係を持っている。このため、この偏波成分は、本発明の関連で深い三次元周期構造である超晶格子境界面上に平行な長手方向に進んでいくときに、それぞれがTE波、TM波になる。また一般に三次元周期構造は平面内に一定のTEの波数とTMの波数、つまり種類がある。故に、本発明の場合には、便宜上TE波、TM波と分類することができ、例えば、ある波数のTE波とある波数のTM波とが、同波数波数として存在し、その偏波成分は異なる。

- 110 -

[illegible]

【従来の技術】偏光子とは、不特定の方向に電磁界が振動する無偏光または楕円偏光を、ある特定方向の振動成分だけに透過させて直線偏光にする素子である。最も基本的な元素子の一つであり、光通信ファイバ、光ファイバのシグナラップ、液晶ディスプレイ、光応用計測などに広く利用されている。動作形態は、(1) 不要の偏波を吸収させるもの、(2) 同じ光路で入射する直交する二つの偏波成分を別々の光路に分岐するもの、の二つに大別される。利用目的により、大きな開口面積、高性能、薄型などの特性を実現することが望まれており、産業的には安価に供給できることが重要である。現在、実用的に使用されている偏光子は、(1) 動作を伴うものには高分子を主成分とする素子として特性分子を入れた透明な膜状のものを、これは安価で大面积のものが得られるが、消光比が低く、温度安定性に劣るという欠点がある。この問題を解決するため、安定性が高い材料を用いた偏光子が開発されている。即ち、導電性として透明体中に金属粒子を分散させた消光体や、消光効果により偏光効果を生じる配列した分子を有する二重膜構造、二重膜構造による偏光効果を生じる反射膜などがあり、偏光

す、他方へ偏光モードの光導波管となる場合がある。即ち、この周期微構造においては、この周期構造体、一方は偏光を反射または反射し、他方へ偏光を透過させる偏光子として大動作が可能である。また、消光比も周期微構造の増加によって十分高いことが得られる。本発明の中心思想は、屈折率も異なる二種類以上の透明体からなり、二次元的真空中座標系 $x-y-z$ において、積層の単位となる層の形状が x 軸方向に周期構造を有し、 y 軸方向には、単一であるか、または x 軸方向より長い周期をもつ構造を有し、 z 軸方向を繰り返して $x-y$ 軸方向に層状に積層されている構造、即ち、周期的な穴（うねり）を有する二種類以上の薄膜を多層化した構造、これによって面型偏光子の特性が存在することを発見したこと、およびこの構造を発明者らの開発してきた周期構造作製方法により作製する方法を発明したことである。光は面に垂直あるいは斜めに入射される。開口面積は基板の大きさで決まり、大きくすることは極めて容易である。また光路長は積層厚さで決まり、波長の数倍程度（数 μm ）で十分である。従来は偏光子に比べて数倍単位で薄くすることができ、一方、バイアス・スハックリングは代表される堆積粒子の拡散入射とスハックリングを用いた成膜法において、その堆積作用とスハックリング作用を相互に制御することにより、表面の凹凸形状を繰り返しての層状に積層される方法が可能である。このメカニズムは次の3つの効果、（1）堆積粒子の拡散入射により形成される凹部の堆積速度が遅くなる効果、（2）スハックリングによる傾斜角約50°から60°の面においてスハックリング速度が最大になる効果、（3）傾斜メカニズムによる凹部を粒子が基板が別の凹部に付着する効果、の適切な割合での重なり合によって説明がなされる（川上彰三郎、佐藤尚、月嶋貴之、"バイアススハック法で作製される3D周期ナノ構造の形成機構、"電子情報通信学会誌（C-1, vol. J81, C-1, no. 2, pp. 108-109, 1998年2月）。この技術を用いることで、周期的な溝列を形成した基板上に、二種類（透明材料からなる薄膜を正確な位置合わせを一切行わずに位置の正しい凹凸形状を繰り返しての周期的に積層すること）ができる。即ち、この技術を用いることで本発明の偏光子を容易に作製することができる。以上のことから、本発明の偏光子は、小さい光路長で優れた消光比と挿入損失低性を有し、大きな開口面積も可能で、低価格で提供することができる。

[illegible]

内面より周期構造体にメタ面から無偏偏光または偏偏光を入射する。溝列に平行な偏波即ち y 偏波を、それと直交する偏波即ち x 偏波とをそれぞれ、TE モード、TM モードの光が周期構造体の内部に誘起される。この周期構造体の TE モードまたは TM モードの、ドギラツクの中を走れば、そのモードは周期構造体の中で伝播することができる。入射光は反射または屈折される。一方、光の周皮紋が、メタ層の下の内、すなわち、周期構造体の中を走れば波動ベクトルを保存しながら透過する。従つて面製の偏光子として動作する。本発明の偏光子では、溝列の周期 L_x 、積層方向の周期 L_z を制御することで、TE モード、TM モードの波長ドギラツクが異なる波長帯域を任意に変えることができる。即ち偏光子として動作させる波長帯域を任意に設定することが可能である。また低屈折率媒質としては SiO_2 を主成分とする材料が最も一般的である。 SiO_2 は透明波長領域が広く、化学的、熱的、機械的にも安定であり、成膜も容易に行なえる。高屈折率材料としては、 TiO_2 などの酸化物や、 $\text{Si}(\text{Ge})\text{As}$ などの半導体が使用できる。 TiO_2 などは透明波長範囲が広く、可視光領域でも使用できる。一方、半導体は、近赤外域に限定されるが、屈折率が大い利点がある。ところで、多目的の偏光子としては、広い周波数帯域で、使用することが望ましい。高屈折率媒質層と低屈折率媒質層の形状を適切に決定することにより、偏光子としての使用周波数帯域を広くとることができる。適に、特定のレーザ光のような単色の光に対しては、高屈折率媒質と低屈折率媒質の形状に対する自由度は大きく、成膜において、繰り返し、容易な形状を選択することができる。以下、実施例において、層の形状と繰り返し構造および、その製法方法を説明する。

【実施例】（実施例１）図１は、本発明の実施例の構造を示す断面図である。この図においては、符号１はシリコン酸化物 SiO_2 の層であり、符号２はシリコン酸化物 SiO_2 の層である。x軸方向の周期 L_x は $0.4\mu\text{m}$ 、z軸方向の周期 L_z は $0.32\mu\text{m}$ である。 SiO_2 層および Si 層は厚さ t をわずかに変化させながら、周期的に折れ曲がった形状をなしている。次に、その作製方法を説明する。まず、基板上に電子ビームリソグラフィを用いて、図２に示すような周期的な溝を作製した。図２が、その模式図である。符号３は石英ガラス基板、符号４は無反射コーティング層、符号５は周期的な溝の部分である。一般に、この周期構造が決めれば、３、４、５は基板と異なる材料から選定するが、基板に同一の材料から選ぶことも溝を形成することはできる。ここでは後者を例として、溝の幅は $0.4\mu\text{m}$ 、深さは $0.2\mu\text{m}$ 、横方向の周期は $0.4\mu\text{m}$ とした。この基板に、 SiO_2 および Si の混合物からなる、 SiO_2 と Si の原子比が、 $1:1$ の膜を、 SiO_2 層と Si 層とを交互に積層して、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、 x 軸方向に周期的に交互に折れ曲がった

ながら成膜を行なうことが必要である。その条件は内圧とされているが、 SiO_2 の成膜に対しては、Arガス圧1.9mTorr、ターゲット高周波電力400W、基板高周波電力60W、 Si の成膜に対し、Arガス圧3.6mTorr、ターゲット高周波電力400Wである。この条件において、図2に示された矩形の溝を有する基板を用いて、図1に示された積層構造が生成される理由は、次に述べる3要素の重ね合わせによって説明することができる。(1)ターゲットからの中性粒子の分散入射による堆積；(2)Arイオンの垂直入射によるスパッタリング；(3)堆積粒子の再付着である。図3aと図3bは、このようにして得られた周期構造体における、波長 $1.0\mu\text{m}$ でのTE波とTM波に対する透過光の近視野での強度分布を示す図である。横軸は基板ウェハ上の位置を示す。中央部分が偏光子部分であって、その両側は1.基板ウェハーが溝を持たず、 Si と SiO_2 の平行層が堆積された部分である。縦軸は1.基板ウェハー上の各点における透過光強度である。偏光子部分はTE波を1とみな意断していることがわかる。一方、TM波に対しては、両側の溝のない基板上に堆積された膜の部分と偏光子部分において、透過光強度の差は微小である。言い換えると、偏光子部分に無反射コーティングを施せば、微小な損失で、TM波を透過させることができる。図4に、この周期構造体における周波数と波動ベクトルの関係を周期的境界条件を用いたFDTD法(有限差分時間領域法)により計算した結果を示す。FDTD法によるフォトニック結晶の周期構造と光透過特性の解析はS. Fanらにより、Physical Review B, vol. 54, no. 16, pp. 11245-11251 (1996年)において報告されているとおりである。図4において、横軸は相対値で表した波動ベクトルの大きさであり、縦軸は相対値で表した周波数 L_y/λ である。ここで、 λ は入射光の波長、 k_x は波動ベクトルのx成分である。実線と破線は、それぞれTE波とTM波における分散曲線を示す。ここで $L_y=0.4\mu\text{m}$ 、波長 $1\mu\text{m}$ と0.4となる。この図からわかるように、 $L_y/\lambda=0.4$ の直線はTE波の分散曲線(実線)と交わり、TM波の分散曲線(破線)と交わる。これはTE波は遮断・反射され、TM波は透過することを意味する。すなわち、この周期構造体は周波数 L_y/λ が0.39から0.43の間、位置中を透過する周波数帯でTM波を透過させて偏光子として作用している。

(実施例2) 本実施例では、各誘電率の層の厚さを面内均一な矩形の溝の形状、 L_x と L_y で表した値とした。パイナックルが矩形上に設けられたことが要約として述べた偏光子作用の原理と一致する例を示す。図5は、本発明の他の実施例、楕円状の溝を用いた周期構造体の断面図である。 Si の層の厚さを、分散S波長より短く Si 層とした。x

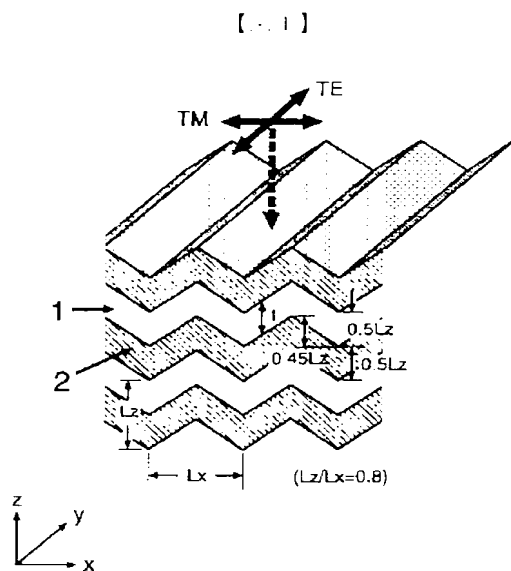
軸方向の周期 L_x は $0.4\mu\text{m}$ 、z軸方向の周期 L_z は $0.32\mu\text{m}$ とする。 SiO_2 層は厚さを $0.9L_z$ と $0.3L_z$ の間で変化させながら、そして、 Si 層は厚さを $0.1L_z$ と $0.7L_z$ の間で変化させながら、周期的に交互に曲がった形状を有している。積層膜の形成において、基板は実施例1の場合と同じであるが、 SiO_2 層および Si 層を生成するバイアス・スパッタリングの条件が異なっている。この周期構造体における周波数と波動ベクトルの関係をFDTD法により、計算した結果を図6に示す。横軸は相対値で表した波動ベクトルの大きさであり、縦軸は相対値で表した周波数である。実線と破線は、それぞれTE波とTM波における分散曲線である。この図からわかるように、第1の実施例の場合よりも、偏光子として作用する周波数帯が広がっている。ところで、ひとつのバンドギャップに着目したとき、単一の光周波数で使用する偏光子に対しても、その周波数幅は広いことが望ましい。なぜなら、バンドギャップの端から十分に離れていない周波数においては、消光比を大きくするために必要なz方向の周期数が増大するからである。第1と第2の実施例において、z軸方向とx軸方向の繰り返し周期の比 L_z/L_x は0.8であったが、FDTD法による他の計算結果から0.2程度であっても、偏光子としての作用が可能であることがわかっている。またx方向の周期 L_x は、通常の偏光子として使用する場合には、光の波長以下程度に選ばれるが、一方の偏光をまったく透過させ、他方の偏光を回折させるための偏光素子においては、光の波長より長い周期 L_x を選択するといことがわかっている。さらに、溝はy軸方向に必ずしも一様である必要はなく、x軸方向の溝の幅と間隔に対して、異なる周期構造を持っていてもよく、あるいはy方向に充分長い長さの溝であってもよいことが、他の計算の結果、わかっている。ところで、単位となる層の形状を繰り返しつつ積層する手段として、バイアス・スパッタリング法を用いたが、堆積プロセスとスパッタリングプロセスを同時にではなく時間的に分離した方法を加えることにより、積層の精度となる層の形状の設計自由度を大きくすることができる。さらに、低屈折率媒質としては、シリコン系 SiO_2 以外に、パイナックルを用いた光学ガラスを用いることができる。一方、高屈折率媒質としては Si 以外に、 TiO_2 、 Ta_2O_5 などを用いることもできる。基板に溝の断面形状は、今回A形であったが、矩形の溝でもよいことは明らかである。また、バイアス・スパッタリングの条件も適切に選択すれば、多様な溝の断面形状が可能である。このようにして生成した積層膜を偏光子として使用するためには、基板の基板の反対側一面に無反射コーティングを施す必要、即ち図5に示す、多数の層から成る積層の形成を必要とする。併せて、必要に応じて、この積層膜を多層の積層、絶縁層・偏光子を形成す

るものが多い。また、基板を強く積層膜に厚さは数ミクロンであり、垂直入射または小さい入射角での使用が可能である。光アイソレータ用の光透過用アイソレータとしての、用途が非常に広い。また、光アイソレータなどを用いた光波導路として使用するときは、入射光の偏光方向を調整して使用する必要があるが、この場合も光アイソレータを透過することはないので、研磨が不要である。

【発明の効果】：光アイソレータの研磨工程を省く方法、すなわち、長した偏光子は、光透過方向の厚さが微小で、1ミクロン程度で、大面積の積層膜が得られ、個々のアイソレータを区別すること、研磨が不要であり、切断が容易であるという特徴を備えている。他方、使用する波長域を定めて、特定の偏光特性を持たせる設計が可能である。このような偏光子は、光アイソレータ用の偏光子として最適であり、他にも光アイソレータ、光スイッチなどの中継にはよく、従来の偏光子を置き換えることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施例の構造を示す図



【図1】

【図2】 表面に溝を有する基板を示す図

【図3a】 TE波に対する透過光の近視野における強度分布を示す図

【図3b】 TM波に対する透過光の近視野における強度分布を示す図

【図4】 第1の実施例における周波数と波動ベクトルの関係を示す図

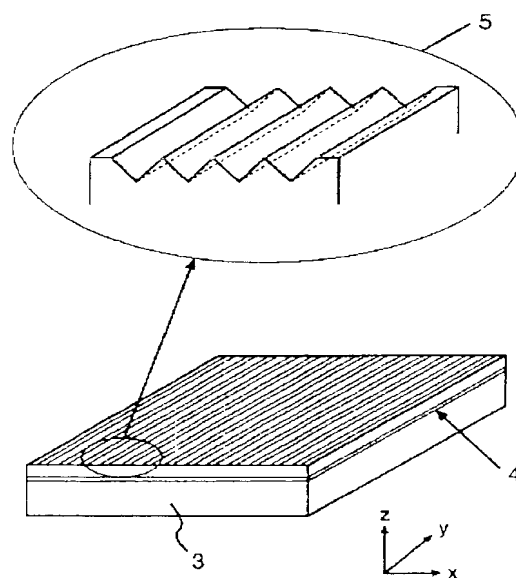
【図5】 第2の実施例の構造を示す図

【図6】 第2の実施例における周波数と波動ベクトルの関係を示す図

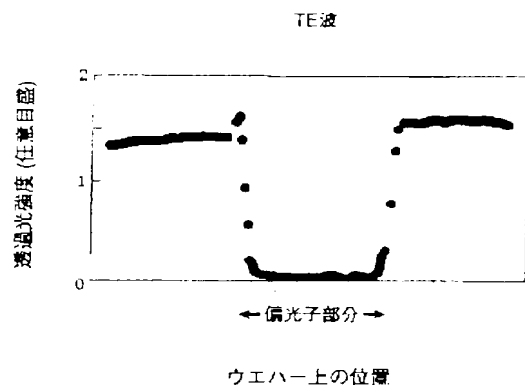
【符号の説明】

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 | S i O ₂ 層 |
| 2 | S i層 |
| 3 | 基板 |
| 4 | 無反射コーティング層 |
| 5 | 周期的な溝 |
| 6 | TM波を透過させる偏光子として作用する周波数帯のひとつ |
| 7 | S i O ₂ 層 |
| 8 | S i層 |

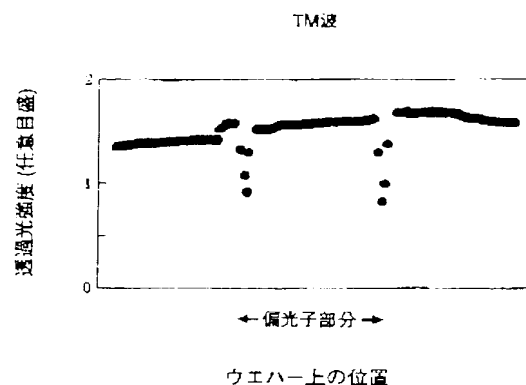
【図2】



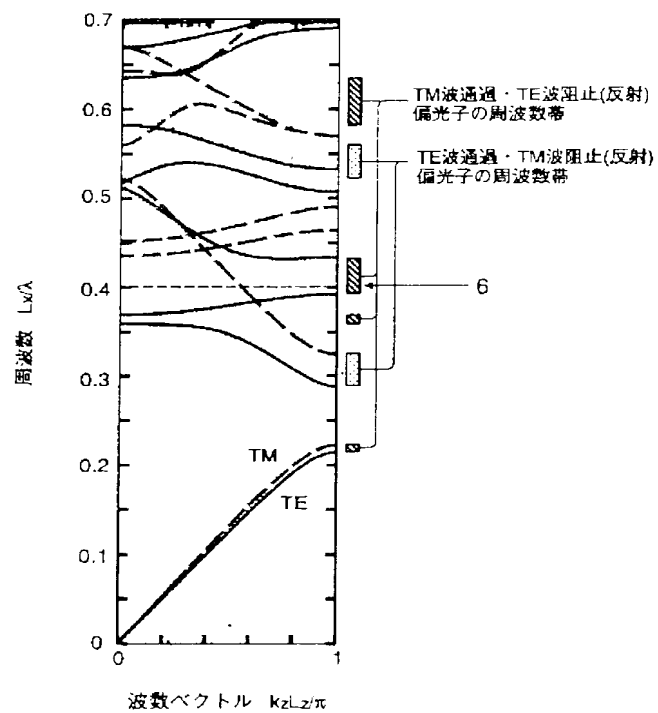
【図3 a】



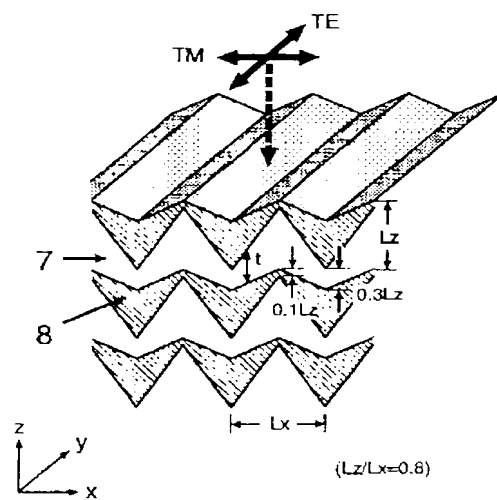
【図3 b】



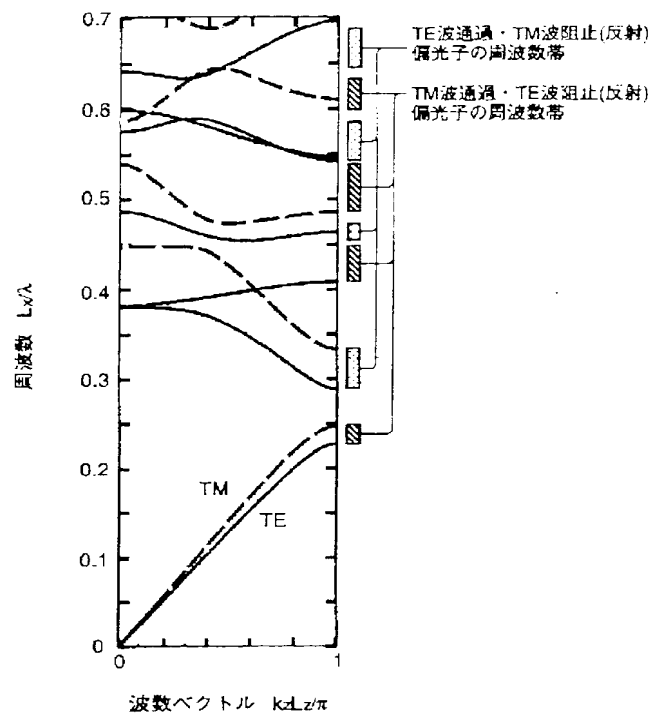
【図4】



【図5】



【図6】



【手続補正書】

【提出日】平成11年7月29日（1999. 7. 29）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元の直交座標 x 、 y 、 z において、屈折率の異なる2種類以上の透明体よりなる z 軸方向の多層構造体であって、各透明体ごとに積層の単位となる層の形状が x 軸方向に周期凹凸構造を有し、 y 軸方向には一様であるか、また、 x 軸方向より大きい長さの周期的または非周期的な凹凸構造を有し、その形状を周期ごとに繰り返しながら z 軸方向に層状に積層されていて、入射方向が z 軸方向に存在しない成分を十分に好んで作用

することを特徴とする偏光子

【請求項2】 請求項1記載の偏光子であって、 S 波または T 波を主成分とする高屈折率媒質と S 波を主成分とする低屈折率媒質層を有する偏光子素子。

【請求項3】 周期的な溝または周期的な線状突起または細長い突起または細長い間みを有する基板の上に、高屈折率媒質と低屈折率媒質とを、少なくとも一部にドライエッチングを含む膜形成方法により周期ごとに形状を繰り返しながら積層することによって作製された偏光子

【請求項4】 周期的な溝または周期的な線状突起または細長い突起または細長い間みを有する基板の上に、 S 波または T 波を主成分とする高屈折率媒質と S 波を主成分とする低屈折率媒質とを、少なくとも一部にドライエッチングを含む膜形成方法により周期ごとに形状を繰り返しながら積層することによって作製された偏光子

【補正の範囲】

特許発明者 三浦 貴之

〒464-8601 愛知県名古屋市中区栄三丁目1番1号
三井物産株式会社 特許部

特許代理人 三浦 貴之 H01B 10/00 B42C 1/00 B60C 1/00

B60C 1/00